

# PENGEMBANGAN DAN ANALISA KESERAGAMAN ALIRAN TEROWONGAN ANGIN TIPE TERBUKA SEBAGAI SARANA PENGUJIAN AERODINAMIKA

Sri Utami Handayani<sup>1</sup>

Program Studi Diploma III Teknik Mesin Fakultas Teknik UNDIP

Jl. Hayam Wuruk no.4, Pleburan, Semarang

Email : [handayani@undip.ac.id](mailto:handayani@undip.ac.id)

## Abstrak

*Terowongan angin sebagai sarana praktikum dan riset di bidang aerodinamika sangat penting keberadaannya, namun harganya yang mahal seringkali menjadi kendala utama di berbagai institusi pendidikan. Pengembangan terowongan angin dengan biaya murah namun memenuhi syarat sangat penting untuk dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan terowongan angin tipe terbuka dan menguji keseragaman aliran pada seksi uji sehingga layak untuk dipergunakan. Terowongan angin dibuat dari plat besi dengan tebal 1,4 mm, angin dihasilkan oleh fan aksial yang digerakkan dengan motor listrik dengan daya 1 HP. Pengujian dilakukan pada beberapa kecepatan angin yang berbeda, variasi kecepatan diperoleh dengan mengubah putaran motor listrik menggunakan inverter. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kecepatan terendah yang dicapai adalah 2 m/s dan tertinggi 5,8 m/s. Pada kecepatan 2 m/s variasi kecepatan pada seksi uji sekitar 0,1 m/s, dan pada kecepatan 5,8 m/s sekitar 0,1 hingga 0,3 m/s.*

Kata kunci : *terowongan angin, aerodinamika, open circuit wind tunnel*

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Terowongan angin merupakan peralatan yang sangat penting untuk penelitian tentang aerodinamika antara lain tentang karakteristik aliran udara/gas ketika melewati obyek tertentu, (Ramkissoon dan Manohar, 2014; Pope, 1966; Tavoularis dan Stavros, 2005; Bradshaw dan Pankhurst, 1964), seperti kendaraan, bangunan, turbin angin, dll. Harga terowongan angin dan berbagai alat ukurnya yang mahal seringkali menjadi kendala tersendiri dalam pengadaannya di berbagai institusi pendidikan.

Di PSD III Teknik Mesin FT Undip telah dibuat terowongan angin tipe terbuka yang dapat digunakan sebagai sarana pengembangan bidang aerodinamika khususnya peminatan turbin angin. Pengembangan dilakukan secara bertahap untuk mengatasi keterbatasan dana. Pada tahap awal telah dikembangkan terowongan angin tipe terbuka, sedangkan peralatan pendukung seperti instrumen pengukur tekanan, kecepatan dan visualisasi aliran akan dilengkapi pada tahap berikutnya.

Tipe terowongan angin yang dibuat adalah jalur terbuka dengan seksi uji terbuka, dengan beberapa pertimbangan antara lain karena salah satu tujuan pembuatan terowongan angin adalah mendukung peminatan turbin angin, maka diperlukan seksi uji yang besar untuk mencegah efek penyumbatan aliran yang mungkin terjadi bila seksi uji terlalu kecil bila dibandingkan dengan model yang diuji ( Aurelius dan Rofail, 2001). Dengan tipe seksi uji terbuka maka angin akan lebih leluasa untuk bergerak disekitar model uji. Pertimbangan kedua, biaya yang diperlukan untuk pengembangan terowongan angin tipe terbuka lebih murah dibandingkan dengan tipe tertutup (Mehta dan Bradshaw, 1979). Pertimbangan ketiga adalah keterbatasan luas bangunan yang dimiliki, tipe terbuka memerlukan luas bangunan yang lebih kecil bila dibandingkan dengan tipe tertutup (Ramkissoon dan Manohar, 2014, Quoc, 2014)

Hasil pengujian model pada terowongan angin sangat dipengaruhi oleh kualitas aliran yang dihasilkan. Kualitas aliran pada terowongan angin ditunjukkan oleh keseragaman aliran dan intensitas turbulensi. Oleh karena itu diperlukan pengujian keseragaman aliran setelah proses fabrikasi terowongan angin dilakukan.

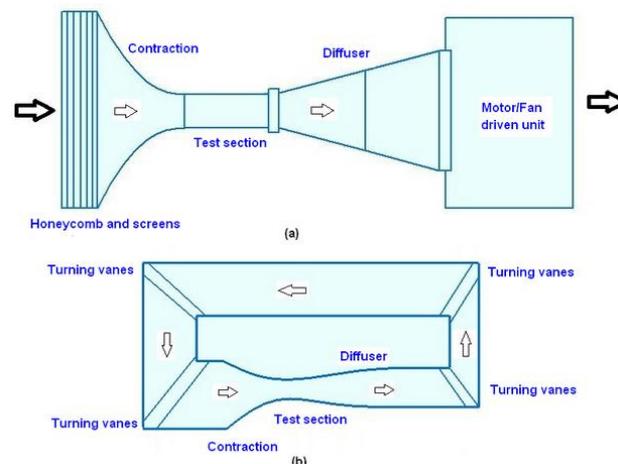
## 1.2. Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah untuk mengetahui distribusi kecepatan aliran pada seksi uji terowongan angin tipe terbuka yang telah dibuat sehingga dapat diketahui keseragaman alirannya.

## 1.3. Tinjauan Pustaka

Terowongan angin adalah peralatan yang dipergunakan untuk menghasilkan aliran udara pada kecepatan tertentu. Ada dua tipe terowongan angin yaitu jalur terbuka dan jalur tertutup. Pada jalur terbuka seksi uji dapat terbuka atau tertutup ( Aurelius dan Rofail, 2001; Bell dan Mehta, 1998; Boudreau, 2009; Mehta dan Bradshaw, 1979). Pada terowongan angin tipe terbuka (gambar 1a) konstruksi lebih sederhana, murah, hemat ruangan dan tidak dipengaruhi oleh fluktuasi temperatur karena temperturruangan relatif lebih stabil. Pada tipe tertutup (gambar 1b) udara disirkulasikan sepanjang terowongan angin sehingga ukurannya lebih besar, mahal dan lebih sulit untuk dibuat. Kelebihan dari tipe ini adalah fan yang dipergunakan dapat lebih kecil dibandingkan pada tipe terbuka untuk kecepatan angin yang sama (Singh dkk, 2013).

Berdasarkan kecepatan aliran terowongan ngin dibedakan menjadi terowongan angin dengan kecepatan subsonik, transonik, supersonik dan hipersonik (Singh dkk, 2013, Lindgren dan Johansson, 2002)



**Gambar 1. Terowongan angin (a). jalur terbuka , (b). Jalur tertutup**

Komponen utama terowongan angin antara lain settling chamber, screen, honeycombs, contraction section, seksi uji, difuser, fan, corner/turning vanes, dan base.

### *Settling chamber*

*Settling chamber* terletak diantara fan atau *diffuser* dan bagian kontraksi, berisi *honeycombs* dan *screen* yang berfungsi untuk menyeragamkan aliran pada arah membujur.

### *Screen*

Screen biasanya terletak setelah *honeycombs* atau pada sisi masuk seksi uji. *Screen* berfungsi untuk mengurangi tebal lapis batas dan meningkatkan keseragaman aliran (Singh dkk, 2013). *Screen* dapat dipasang beberapa buah dengan jarak 0.2 kali diameter *settling chamber*.

### *Honeycombs*

*Honeycombs* merupakan suatu struktur berbentuk segienam, segi empat atau segitiga yang terletak pada *settling chamber* dan berfungsi untuk menyeragamkan aliran. *Honeycomb* akan menghilangkan pusaran, mengurangi variasi kecepatan pada arah lateral serta mengurangi turbulensi aliran. Panjang *honeycombs* sebaiknya sekitar 6 - 8 kali ukuran sel (Mehta dan Bradshaw, 1979; Singh dkk, 2013). Ukuran sel sebaiknya sekitar 150 sel setiap *settling chamber* (Singh dkk, 2013).

#### *Bagian kontraksi*

Bagian kontraksi terletak antara *settling chamber* dan seksi uji, berfungsi untuk menaikkan kecepatan rata rata pada sisi masuk seksi uji dan mengurangi fluktuasi aliran. Perbandingan kontraksi yang besar dan panjang bagian kontraksi yang lebih kecil dapat mengurangi rugi rugi aliran dan memperkecil lapis batas, tetapi makin panjang bagian kontraksi dapat mencegah terbentuknya separasi. Terowongan angin ukuran kecil umumnya memiliki perbandingan kontraksi antara 4-9 (Singh dkk, 2013). Perbandingan kontraksi yang besar juga dapat meningkatkan kualitas aliran (Lindgren dan Johansson, 2002).

#### *Seksi Uji*

Seksi uji adalah bagian dimana model yang akan diuji diletakkan, dapat terbuka atau tertutup. Bentuk dan ukuran seksi uji tergantung dari besarnya model yang akan diuji.

#### *Diffuser*

*Diffuser* adalah suatu ruangan yang digunakan untuk mengekspansikan aliran. Aliran melalui *diffuser* tergantung pada geometrinya yang didefinisikan dengan perbandingan luas penampang (A), sudut *diffuser* ( $2\theta$ ), kontur dinding, dan bentuk penampang. Pengaruh lain yang sulit untuk diperkirakan adalah kondisi awal aliran, metode pengontrolan lapis batas dan adanya separasi aliran.

#### *Fan/Blower*

Fan aksial atau blower sentrifugal digunakan untuk menghasilkan aliran udara. Fan aksial sering digunakan pada terowongan angin tipe tertutup, dapat berupa fan tekan atau tarik. Blower sentrifugal dapat digunakan pada terowongan angin tipe terbuka atau tertutup. Blower sentrifugal biasanya memiliki range pemakaian yang lebih luas dan menghasilkan aliran yang *steady* dan efisiensi lebih tinggi (Mehta dan Bradshaw, 1979)

#### *Corner/Turning Vanes*

Pada terowongan angin tipe tertutup ada bagian yang akan membelokkan aliran. *Corner/turning vanes* berfungsi untuk mengarahkan aliran, mengurangi kerugian tekanan dan mengurangi terbentuknya turbulensi pada setiap belokan. *Vanes* dapat terbuat dari plat logam yang tipis atau airfoil yang lebih tebal. Perbandingan antara jarak (diukur dari *leading edge* ke *leading edge*) dan panjang *chord* tidak boleh melebihi 0.25.

## **2. METODE PENELITIAN**

### **2.1. Desain terowongan angin**

Tipe terowongan angin yang akan dibuat adalah jalur terbuka dengan seksi uji terbuka (*open jet wind tunnel*). Perancangan dimensi terowongan angin didasarkan pada ukuran seksi uji.

#### **a. Fan**

Fan yang dipergunakan adalah fan aksial dengan dengan jumlah sudu 8 buah dan diameter 40 cm, penggerak motor listrik dengan putaran 2800 rpm dan daya 1 PK.

#### **b. Seksi Uji**

Penampang seksi uji dibuat berukuran 45cm x 45cm, ukuran ini akan menjadi acuan dalam penentuan dimensi terowongan angin yang lain. Agar aliran angin dapat seragam pada arah aksial, maka panjang seksi uji sebaiknya lebih dari 1,5 kali diameternya (Singh dkk, 2013).

Panjang seksi uji =  $1,5 \times 45 \text{ cm} = 67,5 \text{ cm}$

c. *Bagian kontraksi*

Rasio penampang pada bagian kontraksi sebaiknya antara 4 – 9 (Singh dkk, 2013). Dengan pertimbangan biaya, maka diambil rasio penampang bagian kontraksi sebesar 5, dengan bentuk persegi. Acuan ukuran adalah penampang seksi uji sebesar 45 cm x 45 cm.

Luas penampang bagian kontraksi =  $5 \times (45\text{cm} \times 45\text{cm}) = 10125 \text{ cm}^2$

Ukuran penampang bagian kontraksi =  $\sqrt{10125 \text{ cm}^2} = 100,6 \text{ cm} \cong 100 \text{ cm}$

d. *Honeycomb*

*Honeycombs* adalah suatu struktur berbentuk sarang tawon, segitiga atau persegi. Agar lebih mudah pada terowongan angin yang dibuat ini digunakan sedotan plastik dengan diameter 0.8 cm dan tebal 0.1 mm. Panjang *honeycomb* sebaiknya antara 6-8 kali ukuran selnya, makin panjang *honeycomb* maka aliran akan semakin seragam, namun kerugian tekanan makin besar.

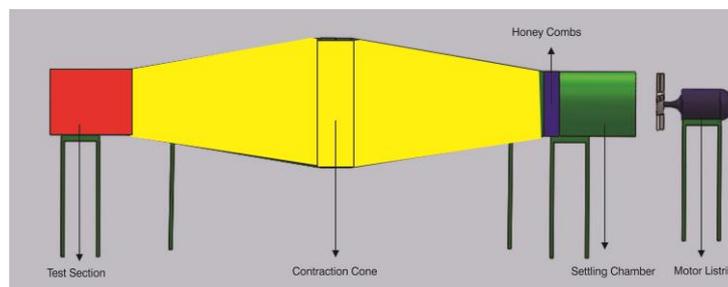
Panjang *honeycombs* =  $7 \times 0,8 \text{ cm} = 5,6 \text{ cm} \cong 6\text{cm}$

Untuk menahan sedotan plastik maka pada sisi sebelum dan sesudah sedotan plastik diberikan *screen* dengan ukuran 0,5cm x 0,5 cm.

e. *Settling chamber*

Diameter *settling chamber* dibuat sedikit lebih besar daripada diameter fan motor listrik. Dimensi *settling chamber* yaitu 45cm dan panjang 45cm.

Terowongan angin dibuat dari plat besi dengan tebal 1,4 mm, sedangkan dudukan dibuat dari besi siku dengan ukuran 5 cm x 5 cm. Bentuk terowongan angin yang dibuat seperti gambar 2 :

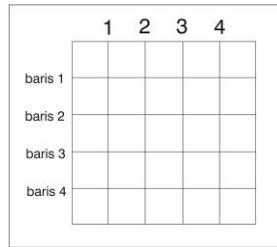


**Gambar 2. Desain terowongan angin**

2.2. Metode pengujian

Keseragaman aliran pada seksi uji sangat penting pada saat pengujian model pada terowongan angin, oleh karena itu diperlukan pengujian keseragaman aliran. Angin yang dihasilkan oleh fan aksial memiliki profil kecepatan yang tidak seragam dan untuk membandingkan dengan profil kecepatan pada seksi uji dilakukan pengujian distribusi kecepatan angin keluar dari fan aksial dan pada seksi uji.

Pengukuran kecepatan dilakukan dengan menggunakan anemometer digital, sedangkan pengaturan kecepatan angin dilakukan dengan inverter. Penurunan frekuensi listrik akan menyebabkan penurunan putaran fan dan pada akhirnya akan menurunkan kecepatan angin. Motor listrik diatur bekerja pada frekuensi 50 – 20 Hz dengan rentang 5 Hz. Pengukuran dilakukan pada waktu dimana temperatur udara memiliki rentang yang tidak terlalu berbeda yaitu antara jam 11.00 sampai jam 14.00, sehingga volume jenis udara dapat dianggap konstan. Pengujian keseragaman aliran dilakukan pada seksi uji dengan 16 titik pengujian seperti pada gambar 3.1.



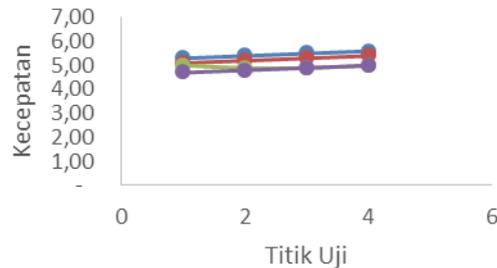
Gambar 3. Titik Pengujian Pada Seksi Uji

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

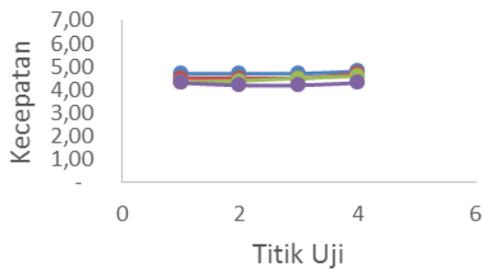
Berdasarkan hasil pengukuran yang telah dilakukan diperoleh gambaran kecepatan pada berbagai posisi uji seperti pada gambar 4a sampai dengan 4f.



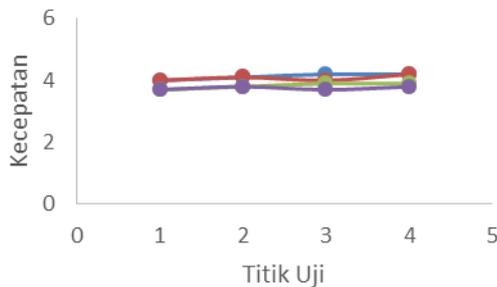
a. Frekuensi 50 Hz



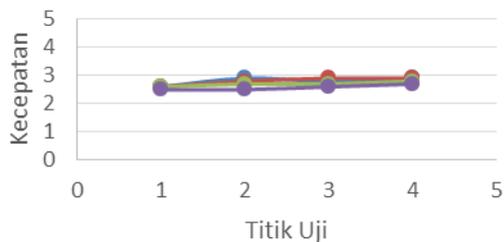
b. Frekuensi 45 Hz



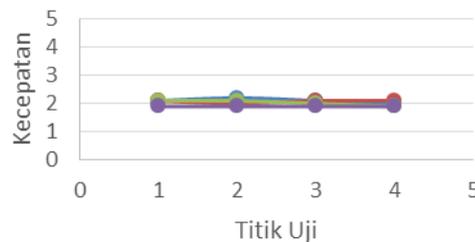
c. Frekuensi 40 Hz



d. Frekuensi 35 Hz



e. Frekuensi 25 Hz



f. Frekuensi 20 Hz

Gambar 4. Distribusi kecepatan angin pada seksi uji.

Berdasarkan data hasil pengamatan dan kurva pada gambar 4a sampai dengan 4f, terlihat

bahwa kecepatan angin pada seksi uji cukup seragam dengan fluktuasi kecepatan berkisar 0.1 m/s, sehingga dari hasil tersebut terowongan angin telah dapat digunakan untuk pengujian unjuk kerja turbin angin. Apabila terowongan angin akan digunakan untuk penelitian yang lebih mendalam tentang karakteristik aliran, maka harus dipergunakan peralatan pengukur kecepatan yang lebih akurat, seperti *hot wire anemometer* atau *pitot static tube* yang dilengkapi dengan akuisisi data untuk merekam data hasil pengukuran.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan data hasil pengukuran yang telah diperoleh, dapat disimpulkan bahwa terowongan angin yang dibuat telah mampu menghasilkan aliran yang seragam dengan fluktuasi aliran antar titik yang cukup kecil.

Untuk meningkatkan akurasi pengukuran kecepatan sebaiknya kecepatan diukur dengan peralatan yang memiliki ketelitian lebih tinggi seperti *hot wire anemometer* atau *pitot static tube*.

#### 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada para mahasiswa yang telah membantu fabrikasi dan pengujian terowongan angin ini, antara lain : Isnaeni Wulandari, Saeful Bahri, Kristino Budiarto, Dedi Sukma S dan Andika Kurniawan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Mehta RD, Bradshaw P. 1979, *Design Rules for Small Low Speed Terowongan angins*. Aeronautical Journal.;443-449.
- Aurelius L.J. and Rofail A.W., *Performance of Windtech's slatted roof blockage tolerant boundary layer terowongan angin in 3D flow*, 9th AWES Workshop, Townsville, 12-13 July, 2001.
- Bradshaw P, Pankhurst RC. *The design of low-speed terowongan angins*. Progress in Aeronautical Sciences. 1964;6:1-69.
- Lindgren, B., dan Johansson, A.V., 2002, *Design and Evaluation of a Low Speed Wind-Tunnel with Expanding Corner*, Technical Report from Royal Institute of Technology Department of Mechanics, Sweden.
- Nguyen Q.Y, 2014, *Designing, Constructing and Testing of a Low Speed Open Jet Terowongan angin* Int. Journal of Engineering Research and Applications, ISSN : 2248-9622, Vol. 4, Issue 1( Version 2), January 2014, pp.243-246.
- Pope, A., 1966, *A Low Speed Terowongan angin Testing*, John Wiley and Sons, New York.
- Ramkissoon,R. dan Manohar,K., 2014, *Design and Calibration of a Low Speed Terowongan angin*, British Journal of Applied Science and Technology 4(20) page 2878-2890.
- Singh, M., Singh, N., dan Yadav, S.K., 2013, *Review of Design and Construction of an Open Circuit Low Speed Terowongan angin*, Global Journal of Research in Engineering Mechanical and Mechanics Engineering Volume 13 Issue 5 version 1. page 1-21.
- Tavoularis, Stavros. 2005, *Measurement in Fluid Mechanics*, Cambridge University Press.
- <http://nptel.ac.in/courses/101103004/module8/lec1/2.html> diakses tanggal 24 Oktober 2014